УДК 504.06 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-47-54

Экспериментальные исследования свойств металлической пыли

Л. В. Дикова, Н. С. Самарская
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Вопросы обеспечения экологической безопасности металлообрабатывающих производств являются весьма актуальными. Первостепенную роль здесь играет защита атмосферного воздуха от выбросов производственных предприятий отрасли. Для успешной реализации мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности атмосферного воздуха, необходимо детальное изучение состава и параметров свойств компонентов выбросов.
Постановка задачи. Задачами данного исследования являются проведение анализа всего спектра параметров металлической пыли как основного компонента выбросов металлообрабатывающих производств, выбор метода экспериментальных исследований, проведение дисперсионного анализа частиц металлической пыли.
Теоретическая часть. Как правило, продуктивность экспериментальных исследований параметров загрязняющих веществ во многом зависит от методов, которые были применены в ходе выполнения работы. Для того чтобы решить поставленные задачи, проведен анализ современных методов измерения параметров металлической пыли. Выбор осуществлен по основным принципам: относительность, актуальность, полнота и трудоемкость. Также приняты к сведению условия, предъявляемые к окончательным результатам исследований, их точность и надежность, сроки, ресурсы, используемые технические средства исследований, положительные и отрицательные стороны каждого из рассматриваемых методов.
Выводы. В статье представлены методы исследования и результаты экспериментальных исследований свойств металлической пыли.

Ключевые слова: металлообработка, металлическая пыль, свойства пыли, параметры свойств, дисперсный состав, микроскопический метод, дисперсионный анализ.

Для цитирования: Дикова, Л. В. Экспериментальные исследования свойств металлической пыли / Л. В. Дикова, Н. С. Самарская // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 3. — С. 47–54. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-47-54

Experimental studies of the properties of metal dust

L. V. Dikova, N. S. Samarskaya
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The issues of ensuring the environmental safety of metalworking industries are still very relevant. Moreover, the primary role in these issues is played by the protection of atmospheric air from the emissions of industrial enterprises in this industry. For the successful implementation of measures aimed at ensuring the environmental safety of atmospheric air, it is important to study in detail the composition and properties of the emission components.
Problem Statement. The aim of the study is to analyze the entire range of modern methods for measuring the parameters of the properties of metal dust, as the main component of emissions from metalworking industries; to select the method of experimental research; to conduct a dispersion analysis of metal dust particles.
Theoretical Part. As a rule, the productivity of experimental studies of the parameters of the properties of pollutants largely depends on the methods that were used in the performance of the work. To solve these problems, the authors have analyzed modern methods for measuring the parameters of the properties of metal dust. The choice is made according to the basic principles: relativity, relevance, completeness, labor intensity. The conditions for the final results of the research, their accuracy and reliability, the conditions for the terms, resources, technical means of research used, and the positive and negative aspects of each of the methods under consideration are also taken into account.
Conclusion. The article presents the result of the choice of the research method and the results of experimental studies of the properties of metal dust.

Keywords: metalworking, metal dust, dust properties, property parameters, dispersion composition, microscopic method, dispersion analysis.

For citation: L. V. Dikova, N. S. Samarskaya. Experimental studies of the properties of metal dust. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021;3:47–54. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-47-54

Введение. В настоящее время перед человечеством стоит ряд проблем, среди которых особое место занимают проблемы обеспечения экологической безопасности. Удовлетворение потребностей современного общества привело к бурному развитию всех отраслей промышленности, что существенно отразилось на качестве окружающей среды [1].

Как показывают многочисленные исследования в области экологической безопасности городских территорий, развитие некоторых отраслей промышленности приводит к особо разрушительным последствиям. Являясь природопользователем, человек привносит в окружающую среду изменения, негативно влияя на ее естественные процессы. Поэтому чрезвычайно важным является не только развитие промышленных производств, но и одновременное рациональное природопользование, и охрана окружающей среды [2].

Анализируя особенности производственной деятельности предприятий, можно заключить, что среди основных источников загрязнения окружающей среды выделяются предприятия черной и цветной металлургии, топливно-энергетического комплекса, машиностроения и металлообработки [3]. Значительный ущерб такие предприятия наносят атмосферному воздуху. В результате выбросов загрязняющих веществ происходит постепенное изменение состава атмосферы, увеличение количества диоксида углерода и пыли. Концентрируясь в нижних слоях тропосферы, выбросы промышленных предприятий значительно повышают фоновое загрязнение атмосферного воздуха городов.

Вблизи предприятий металлообрабатывающей промышленности компонентами фонового загрязнения атмосферного воздуха все чаще становится весьма опасная для здоровья человека металлическая пыль [4]. Образование и выделение металлической пыли на такого рода предприятиях связаны с особенностями реализации технологических процессов. В качестве примера авторами рассмотрено металлообрабатывающее производство, на котором выпускают экструдеры и пакетоделательные машины. Валовый выброс загрязняющих веществ на данном предприятии составил 7,483 т/год. По результатам инвентаризации выявлено 21 наименование загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух. Необходимость обеспечения экологической безопасности на данном предприятии явилось предпосылкой дальнейших исследований.

Постановка задачи. Для проведения исследований был определен производственный участок металлообрабатывающего предприятия, которое давало максимальное количество загрязняющих веществ, а именно — металлической пыли. Образование и выделение металлической пыли происходит от ряда отрезных и шлифовальных станков при отделении частиц металла от общего количества технологического сырья (металлических листов и труб). Так как металлическая пыль — это основной объект, принимающий участие в процессе загрязнения воздушной среды, важным является изучение ее свойств. При этом свойства металлической пыли претерпевают качественные и количественные изменения в течение всего процесса загрязнения воздушной среды [4].

Металлическая пыль — это аэрозоль двухфазной системы, состоящая из дисперсной фазы (твёрдые металлические частицы) и дисперсной среды (воздушная среда). Размер твердых частиц металлической пыли существенно варьируется и может достигать 300 мкм. Согласно принятому в литературе разделению, частицы с размером менее 1 мкм относят к мелкодисперсной пыли, с размером от 1 до 10 мкм — к среднедисперсной, с размером от 40 до 140 мкм — к крупнодисперсной. Также есть подгруппа очень крупной пыли с размером частиц более 140 мкм. Такое подразделение на подгруппы позволяет охарактеризовать дисперсный состав металлической пыли, ее массу и количество.

Различают следующие группы параметров пыли:

1) физико-химические:

— агрегатное состояние — твердое;

— цвет — темно-серый;

— устойчивость к высоким температурам (температура плавления при давлении 101,3 кПа — 1565°C);

— плотность при 20°C — 5240 кг/м^3;

— теплоемкость при 0°C — 113,91 Дж/(моль×K);

— насыпная плотность ρ = 1920 кг/м^3;

— разрывная прочность слоя — 300–600 Па;

2) гидродинамические:

— растворимость в воде — при 25°C нерастворима;

— краевой угол смачивания — 45%.

К химическим свойствам металлической пыли относятся ее химический состав, токсичность, взрыво- и пожароопасность. Нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) оксидов железа 105 г/м^3. Пыли, имеющие НКПВ более 65 г/м^3, относятся к пожароопасным [5].

Теоретическая часть. На первоначальном этапе для решения поставленной задачи авторами выявлено наиболее значимое свойство металлической пыли — ее дисперсный состав. От размера частиц и их количества зависит выбор того или иного метода улавливания и очистки выбросов, содержащих металлическую пыль. В зависимости от размеров частиц металлической пыли эффективность проектируемой системы очистки может быть снижена до 40 %.

При определении метода измерений авторами осуществлен выбор на основе принципов относительности, актуальности, полноты и трудоемкости.

Для сравнения были выбраны следующие методы определения дисперсного состава пылевых частиц: ситовой, микроскопический, седиментационный и гидродинамический [6]. Наиболее приемлемым из них является микроскопический метод. Преимуществами данного метода является возможность определения геометрических параметров частиц металлической пыли, рассмотрения строения поверхности, структуры и формы. Важным является то, что при использовании микроскопического метода исследований замер частиц можно осуществлять в диапазоне от 0,3 до 100 мкм. Однако зачастую для определения размера частиц металлической пыли менее 1 мкм применяют электронные микроскопы с более высокой точностью.

В качестве недостатка микроскопического метода следует отметить его значительную трудоемкость. Точные результаты определения дисперсного состава можно получить лишь при исследовании нескольких сотен частиц. Этим объясняется большая продолжительность проведения экспериментальных исследований. Для сокращения времени на обработку результатов замеров использованы компьютерные технологии, позволяющие определить не только средний размер частиц металлической пыли, но и установить параметры закона распределения.

Таким образом, выбранный метод экспериментальных исследований дисперсного состава металлической пыли соответствует ряду требований:

— положительные стороны рассматриваемого метода преобладают;
— есть данные о подобных анализах, исследуемых образцах;
— выполнимы условия по сроку, ресурсу и техническим средствам, которые требуются для анализа;
— обеспечены требования к окончательному показателю исследований и достоверности результатов.

При проведении экспериментальных исследований использована методика микроскопического анализа [7]. В табл. 1 представлены предварительные теоретические результаты распределения частиц металлической пыли по размерам.

Дисперсность аэрозолей характеризует медианный диаметр d_{50}, то есть такой размер частиц, по которому массу аэрозоля делят на две равные части. При этом масса частиц меньше d_{50} составляет 50 % всей массы металлической пыли, так же, как и масса частиц крупнее d_{50} [5].

В результате проведенных исследований медианный диаметр составил d_{50}=35 мкм.

Также определены удельная поверхность частиц, равная 560 м^2/кг, и скорость витания $v_{вит}$ = 0,5–9 м/с.

Таблица 1

Распределение частиц металлической пыли по размерам

Размер частиц на границах фракций, σ, мкм	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Фракции, D, % от общей массы частиц	4,75	8,02	2,78	8,18	7,04	7,86	16,37	26,51	11,62	6,87

Рассмотрим, в каком виде отображают результаты дисперсионного анализа.

При построении интегрального графика распределения размеров металлических частиц на оси ординат откладывают наиболее объемные доли частиц (Q), которые имеют размер меньше текущего (рис.1). Поэтому интегральную кривую распределения можно представить как некую функцию Q=f(d).

В случае гранулометрического графика по оси абсцисс переносят линейный размер (d) замеряемых частиц.

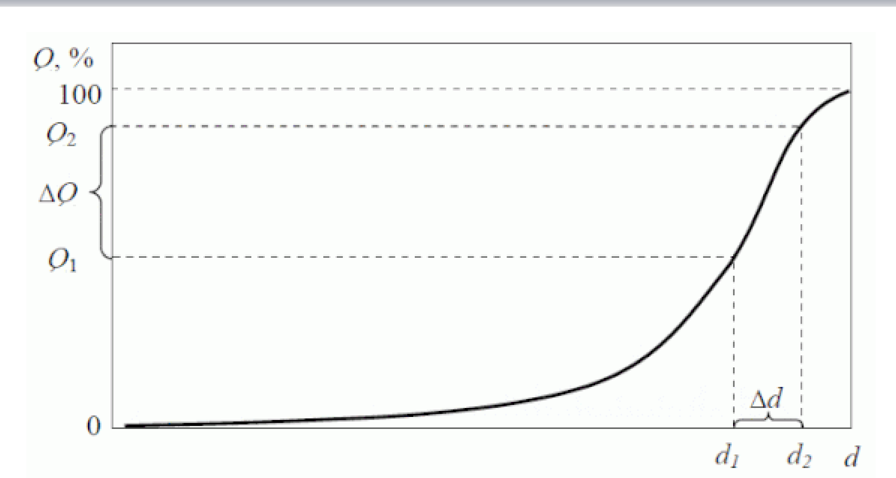


Рис. 1. Интегральная кривая распределения частиц по размерам [8]

При определении объемной доли частиц металлической пыли с размером менее d_1 следует выявить размер d_1 на нижней шкале и из этой точки провести вертикальную линию до пересечения с интегральной кривой распределения. Значение ординаты полученной точки представит объемную долю, занимаемую частицами металлической пыли с размером менее d_1, в данном случае это Q_1. При этом наблюдается соответствие между промежутком размеров от d_1 до d_2 и объемных долей от Q_1 до Q_2 [9].

Для получения ряда интервалов ΔQ_i разобьем интегральную кривую по оси абсцисс на интервалы. Построим ординаты для точек пересечения вертикальных прямых с интегральной кривой.

Причем:

$$\sum_{i=1}^{N} \Delta Qi = 100\%, \quad (1)$$

где N — количество выделенных интервалов (фракций) размеров частиц.

Интервалы объемных долей представим в виде столбцов с высотой Fi=ΔQi. Таким образом, построена дифференциальная гистограмма распределения частиц металлической пыли по размерам (рис. 2).

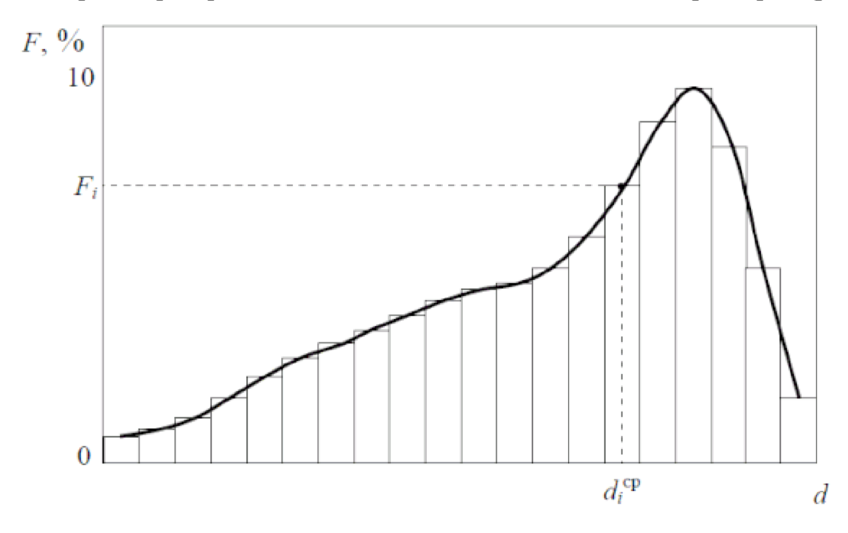


Рис. 2. Распределение частиц на дифференциальной гистограмме [8]

При соединении верхней части столбцов дифференциальной гистограммы распределения получаем плавную дифференциальную кривую. Такая кривая означает, что частицы со средними размерами, расположенными посередине одного столбика (d_{icp}), занимают F_i, % по объему в измеряемой массе.

При построении дифференциальной кривой распределения зачастую отмечают отношения $\Delta Q_i/\Delta d_i$ вместо интервалов объемных долей F_i. Площади каждого прямоугольника соответствует содержание фракции материала в определенных интервальных размерах Δd_i.

Для определения наиболее вероятного диаметра ($d_{н.в.}$) в рассматриваемой дисперсной системе следует построить дифференциальную кривую распределения и соединить плавной линией именно середины верхних частей прямоугольников (рис. 3).

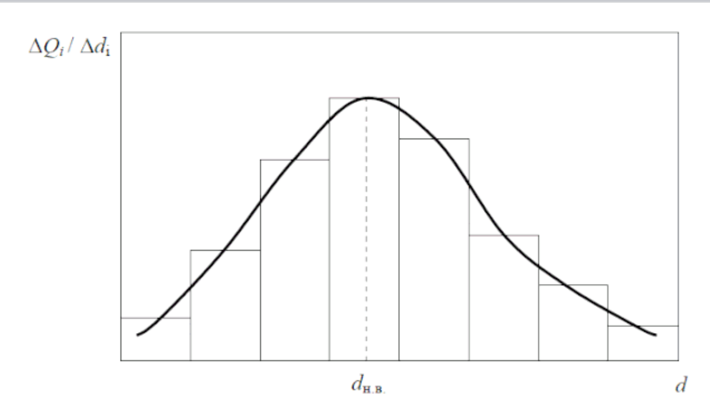


Рис. 3. Наиболее вероятный диаметр частиц металлической пыли [8]

Как правило, основными статистическими показателями дифференциальных кривых распределения частиц по размерам являются среднее значение, мода и медиана распределения (рис. 4).

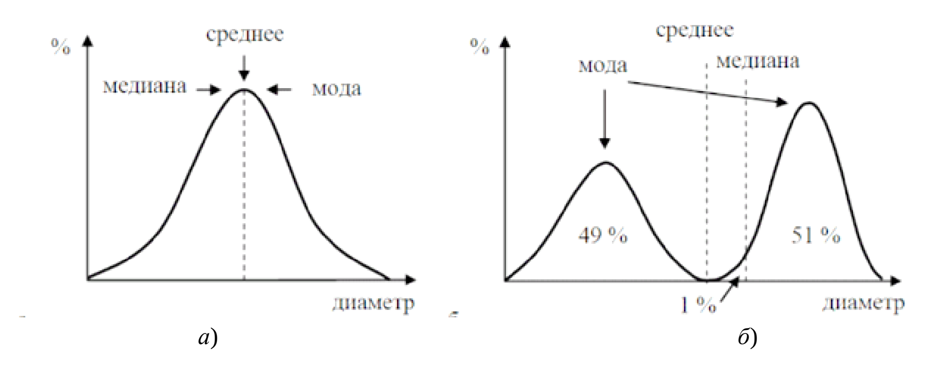


Рис. 4. Основные статистические характеристики при нормальном, или гауссовом, (а) и бимодальном (б) распределении частиц по размерам [8]

Среднее значение — средний размер частиц, результат усредненных данных.

Мода — положение максимума дифференциальной кривой распределения, или наиболее вероятный размер частиц в популяции.

Три статистических показателя совпадают в случае нормального распределения (рис. 4а). Однако при бимодальном распределении среднее находится между двумя интервалами распределения (рис. 4б). Также отсутствуют частицы с диаметром, равным среднему. Медианный диаметр смещен в правую часть распределения. Дифференциальная кривая имеет два выраженных максимума (две моды). Наибольшая мода соответствует положению максимума правой части распределения [10].

Результаты микроскопического анализа и результаты расчетов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты микроскопического анализа

Диаметр частиц σ, мкм	Число частиц					
	I поле	II поле	III поле	IV поле	V поле	Число частиц во всех полях N
5	10	12	7	-	-	29
15	9	-	6	14	20	49
25	6	8	3	-	-	17
35	16	-	-	11	23	50
45	-	15	7	21	-	43
55	8	11	1	12	16	48
65	20	31	14	20	15	100
75	32	20	37	33	40	162
85	31	14	8	18	-	71
95	14	11	-	17	-	42
ΣN =611						

Таблица 3

Данные для построения интегральной кривой распределения числа частиц по размерам

Диаметр частиц σ, мкм	Число частиц данной фракции N	Процентное содержание Фракции Q, %	Нарастающее суммарное содержание фракций D, %
5	29	4,75	4,75
15	49	8,02	12,77
25	17	2,78	15,55
35	50	8,18	23,73
45	43	7,04	30,77
55	48	7,86	38,63
65	100	16,37	55
75	162	26,51	81,51
85	71	11,62	93,13
95	42	6,87	100
	ΣN =611	ΣQ=100	

Ниже приведена информация для построения дифференциальной кривой распределения, полученная при обработке интегральной кривой (табл. 4).

Таблица 4

Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам

σ, мкм	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Δσ,мкм	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ΔQ,%	4,75	8,02	2,78	8,18	7,04	7,86	16,37	26,51	11,62	6,87
ΔQ/Δσ	0,95	0,80	0,28	0,82	0,70	0,79	1,64	2,65	1,16	0,69

Интегральная кривая распределения, построенная по данным табл. 3, показана на рис. 5.

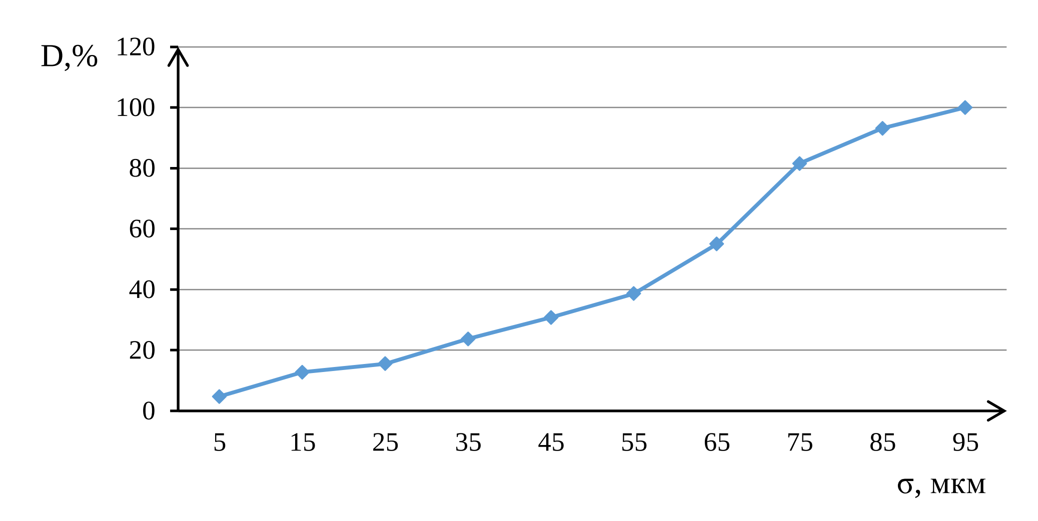


Рис. 5. Интегральная кривая распределения частиц по размерам

По данным табл. 4 и построенной по ней дифференциальной кривой (рис. 6) видно, что максимум ее приходится на 75 мкм .

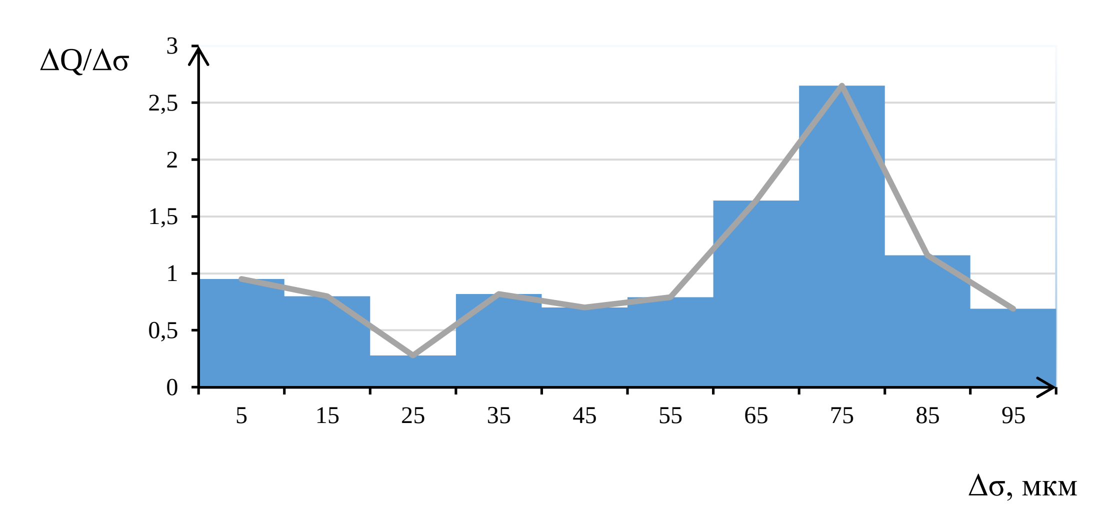


Рис. 6. Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам

Частицы неправильной зернистой формы с включением металлической стружки. Грани частиц с зазубренными краями [7, 9, 11].

Вывод. Проведенный анализ методов экспериментальных исследований, применяемых для определения дисперсионного состава частиц металлической пыли, позволил выбрать микроскопический метод, который более всего подходил поставленным задачам. По полученным экспериментальным данным видно, что частицы размером 75 мкм преобладают в общей массе металлической пыли. Следовательно, металлическую пыль, образующуюся в процессе резания и шлифования, можно отнести к среднедисперсной. Проведенные исследования позволяют перейти в дальнейшем к рассмотрению наиболее перспективных методов и способов обеспечения экологической безопасности на предприятиях металлообрабатывающей промышленности.

Библиографический список

1. Экология : учебник / В. Н. Большаков, В. В. Качак, В. Г. Коберниченко [и др.] ; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. — Москва : Логос, 2017. — 504 с.

2. Финоченко, В. А. Инженерная экология : учеб. пособие / В. А. Финоченко, Г. Н. Соколова, Т. А. Финоченко. — Ростов-на-Дону : РГУПС. — 2019. — 164 с.

3. Техногенное загрязнение окружающей среды г. Воронежа / Н. П. Зуев, А. Н. Лопанов, А. И. Везенцев [и др.] // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды : сб. докладов Междунар. науч.-технич. конф. — Белгород, 2019. — С. 31–37.

4. Дикова, Л. В. Анализ экологической ситуации в районе размещения ООО «Политехник-сервис» г. Азова Ростовской области / Л. В. Дикова, Н. С. Самарская // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. — 2019. — № 1(8). — С. 82–88.

5. Белова, Т. В. Некоторые аспекты действия пылевого загрязнения на организм человека / Т. В. Белова // Антропогенная трансформация природной среды. — 2012. — № 1. — С. 141–144.

6. Пак, А. О. Определение дисперсного состава послеспиртовой зерновой барды / А. О. Пак, С. М. Сабадаш, И. Н. Павлюк // Вестник Алматинского технологического университета. — 2015. — №. 2. — С. 43–47.

7. Трескова, Ю. В. Оценка воздействия на здоровье населения и окружающую среду твердых выбросов горно-обогатительного комбината с учетом их дисперсного состава / Ю. В. Трескова // Молодой ученый. — 2017. — № 23 (157). — С. 19–22.

8. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач : учеб. пособие / В. В. Белов, И. В. Образцов, В. К. Иванов, В. Н. Коноплев. — Тверь : Тверской государственный технический университет, 2015. — 108 с.

9. Жерлыкина, М. Н. Эколого-экономическое прогнозирование и планирование мероприятий по охране атмосферы от выбросов вредных веществ промышленными предприятиями / М. Н. Жерлыкина // Системные технологии. — 2016. — № 1 (18). — С. 63–71.

10. Домкин, К. И. Оптические методы определения размеров мелкодисперсных материалов / К. И. Домкин, В. А. Трусов, В. Г. Недорезов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». — 2011. — Т. 2. — С. 154–158.

11. Гнатив, Р. М. Экспериментальные исследования дисперсного состава металлической стружки / Р. М. Гнатив, С. С. Ковба, И. Р. Гнатив // Pridneprovskiy scientific bulletin. — 2015. — Т. 29, №. 445.

Сдана в редакцию 29.05.2021
Запланирована в номер 22.07.2021

Об авторах:

Дикова Людмила Владимировна, магистрант кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1919-797X, midikova@mail.ru

Самарская Наталья Сергеевна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2117-4221, nat-samars@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Л. В. Дикова — определение цели и задачи исследования, проведение анализа, подготовка текста, формирование выводов; Н. С. Самарская — формирование концепции статьи, выбор тематики, научное руководство, анализ результатов, доработка текста.

Submitted 29.05.2021
Scheduled in the issue 22.07.2021

About the authors:

Dikova, Lyudmila V., Master's degree student, Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1919-797X, midikova@mail.ru

Samarskaya, Natalya S., Associate professor, Environmental Protection Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2117-4221, nat-samars@yandex.ru

Contribution of the authors:

L. V. Dikova — determination of the purpose and objectives of the study, analysis, preparation of the text, formulation of the conclusions; N. S. Samarskaya — formulation of the concept of the article, selection of the topic, scientific supervision, analysis of the results, revision of the text.